

УДК 57.083.1

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ РАЗЛОЖЕНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ, ОБРАЗУЮЩИХСЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Забокрицкий А.А.¹, Вураско А.В.¹

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», г. Екатеринбург

Ключевые слова: биологический метод разложения и утилизации, лигнин, микроорганизмы-биодеструкторы, нитроцеллюлоза, экологический препарат экологического назначения.

Аннотация. Биологический метод наиболее перспективен по эффективному решению экологических задач на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности. Результаты экспериментальных исследований показывают перспективность использования биологического метода для деструкции лигнина. Теоретический анализ показывает, что ферментные системы почвенных микроорганизмов, в том числе родов *Pseudomonas* и *Arthrobacter*, способны деполимеризовать лигнин до простых соединений.

THEORETICAL STUDIES TO ASSESS THE POTENTIAL USE OF BIOLOGICAL METHOD OF DECOMPOSITION AND RECYCLING OF INDUSTRIAL WASTE GENERATED AT THE ENTERPRISES OF PULP AND PAPER INDUSTRY

Zabokritsky A.A.¹, Vurasko A.V.¹

¹Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg

Key words: biological methods of decomposition and utilization, lignin, microorganisms-biodestructors, nitrocellulose, biological drug of ecological purpose.

Abstract. The biological method is the most promising for the effective solution of environmental problems in the enterprises of the pulp and paper industry. The results of experimental studies show the prospects of using the biological method for the destruction of lignin. Theoretical analysis shows that the enzyme systems of soil microorganisms, including the genera *Pseudomonas* and *Arthrobacter*, are able to depolymerize lignin to simple compounds.

К началу XXI века человеческая деятельность создала предпосылки для нынешних глобальных загрязнений в традиционных отраслях промышленности. Среди большинства действующих производств нет ни одного, которое не сопровождалось бы образованием различных видов техногенных отходов, оказывающих мощное неблагоприятное воздействие на окружающую среду, включая микроорганизмы, растения, животных и человека [1].

Обеспечение экологической безопасности становится одним из важных компонентов национальной безопасности, оказывая все большее влияние на благополучие и здоровье населения. Обстановка в Российской Федерации, связанная с загрязнением среды обитания опасными химическими веществами, продолжает оставаться напряженной, уровни загрязнения окружающей природной среды многими вредными веществами существенно превышают их предельно-допустимые концентрации [2, 3].

Наиболее значительные источники выбросов токсических веществ различных классов опасности характерны для предприятий химических и нефтеперерабатывающих производств, металлургии, энергетики, целлюлозно-бумажной промышленности и др. [2]. В то же время, вопросы обращения с промышленными отходами до настоящего времени во многом остаются нерешенными.

В настоящее время биологические методы обезвреживания техногенных отходов находят все более широкое применение в нашей стране и за рубежом. Они основаны на способ-

ности различных штаммов микроорганизмов в процессе своей жизнедеятельности разлагать или усваивать многие органические загрязнители [4].

Так, например, использование природных микроорганизмов для утилизации ксенобиотиков занимает приоритетное место в различных экологических программах по охране окружающей среды. Микробиологический метод очистки является одним из наиболее перспективных направлений развития экобиотехнологии вследствие своей эффективности, безвредности и сравнительно низкой себестоимости. В качестве объектов первостепенного внимания при этом признаются промышленные растворители, нефтепродукты и полихлорированные бифенилы [5].

Микробиологическое обезвреживание отходов требует в 3-10 раз меньше экономических затрат, чем физические или химические методы [2, 6, 7].

Микробиологические методы основаны на естественной способности природных микроорганизмов деградировать опасные соединения до безвредных веществ. Они эффективны против широкого круга вредных органических соединений, трудно поддающихся разрушению другими известными способами. Поэтому проблема биологической деградации, т.е. процесса полного или частичного разрушения органических соединений микроорганизмами, приобретает в настоящее время чрезвычайную актуальность. Укажем, что результатом реализации биодеструктивных свойств микроорганизмов является, как правило, разложение органических веществ до таких конечных продуктов метаболизма, как H_2O , CO_2 , NH_3 , H_2S и др. [5, 6, 8].

Ранее нами были проведены научно-исследовательские работы и создан биологический препарат экологического назначения широкого спектра действия «Центрум-MMS», позволяющий эффективно утилизировать в лабораторных и натурных условиях широкий спектр различных различных ксенобиотиков (сырая нефть, мазут, бензин, топлива (дизельное, авиационное и реактивное), масла (машинное, моторное и турбинное), растительные и животные жиры, спирты (в том числе многоатомные), толуол, бензол и нафталин). Разработка была защищена патентом РФ на изобретение № 2428471 от 13 июня 2010 г. [9]

Дальнейшие исследования позволили выявить ранее неизвестные для данного препарата биологические свойства. Так, была установлена возможность его практического использования как основы в технологии по утилизации отработанных деревянных железнодорожных шпал, пропитанных креозотом, в состав которого, как известно, входят такие компоненты, как фенол, метиловые эфиры двух- и трехатомных фенолов (гваякол, креозол, диметилпирогаллол и другие фенолпроизводные, а также конденсированные ароматические соединения (нафталин, антрацен, фенантрен и другие).

В последующем у микроорганизмов-биодеструкторов, входящих в состав препарата, было показано наличие нового, ранее не изученного свойства - способности утилизировать нитросоединения, что позволило предложить его для разложения таких компонентов, как ракетные топлива на основе гептила – несимметричного диметилгидразина и очистки территорий и водных поверхностей от этого загрязнителя (Патент РФ на изобретение № 2650864 от 17 апреля 2018 г.) [10].

Ранее не было разработано и не предлагалось также приемлемой и адекватной технологии для практического осуществления такой актуальной и сложной экологической задачи, как биодеструкция и нейтрализация отходов нитроцеллюлозы (НЦ) на химических предприятиях, которые производят и используют ее в своем технологическом цикле.

Нами были предложены технологические решения и разработан Промышленный регламент по обезвреживанию загрязненных нитроцеллюлозой прудков-накопителей Режевского химического завода, производившего взрывчатые вещества на основе нитроцеллюлозы, в котором были представлены не только технологические требования, но и обоснованы конкретные физико-химические и биотехнологические параметры, обеспечивающие наиболее эффективную биодеструкцию нитроцеллюлозы. В результате реализации и практического внедрения указанного препарата (Патент РФ на изобретение № 2668811 от 2 октября 2018 г.) в натурных условиях было обработано 50040 тонн промышленных отходов, находящихся в

прудках-накопителях в виде донных отложений полужидкой консистенции, и обезврежено более 600 кг нитроцеллюлозы, количество которой по данным хромато-масс-спектрометрического анализа снижено до безопасного уровня – менее чем 10^{-6} г·кг⁻¹. Одновременно уменьшился и уровень имеющегося загрязнения нефтяными (мазут и технические масла) углеводородами (всего 950 т) до 0,3 г·кг⁻¹, то есть в 10 раз ниже значения ПДК, установленного требованиями нормативных документов [11, 12].

Данная работа была выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Национальная система химической и биологической безопасности Российской Федерации (2009-2014 годы)» и участия в исполнении Государственного контракта от 26 декабря 2011 г. № 11412.1007500.13.005 с Минпромторгом России и в последующем принята Заказчиком.

Известно, что в целлюлозно-бумажной промышленности одним из главных промышленных отходов является лигнин, которого, в частности, за время деятельности Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК) было накоплено 2,6 млн. тонн. Шлам-лигнин в виде осадка, образованного при химической очистке сточных вод комбината, складирован в 10 картах-накопителях [13]. В настоящее время существует угроза катастрофического загрязнения озера Байкал в случае разрушения хранилищ отходов, в том числе и в результате таких опасных геологических процессов как землетрясения, сели и половодье. Для устранения угроз уникальной экологической системе необходима незамедлительная переработка и ликвидация отходов производства БЦБК и рекультивация загрязненных территорий.

Ранее были предложены десятки способов рекультивации, которые в целом себя не оправдали: сушки, сжигания, обезвоживания, омоноличивания, дренажа поверхностных вод, использование шлам-лигнина калифорнийскими червями и др. [14-16].

По структуре шлам-лигнин представляет собой: лигнинные вещества (50-53 %), активный ил (15...25 %), глинозем (5...10 %), полиакриламид (5 %), целлюлозное волокно (5 %).

Молекулярная масса лигнина 1000...10000, он не растворим в воде и в большинстве органических растворителей. Молекула лигнина содержит только три элемента – углерод, водород и кислород, однако это весьма сложное соединение, состоящее из большого числа полимеризованных мономерных блоков, которые представляют собой производные фенилпропана. С химической точки зрения лигнин является производным ароматических углеводородов.

Выполненный нами теоретический анализ позволяет утверждать, что ферментные системы почвенных микроорганизмов, в том числе, и тех на основе которых был разработан и создан рекомендуемый эколобиопрепарат, в принципе, способны деполимеризовать лигнин до простых соединений.

В плане вышеизложенного укажем и на сообщение [17], что бактерии рода *Pseudomonas* (входит в состав предлагаемого эколобиопрепарата), а также *Arthrobacter* «легко деградируют одиночные кольцевые ароматические вещества». Аэробные бактерии рода *Pseudomonas* активно участвуют в природных экосистемах и в термофильном разложении лигнина [18]. Это косвенно подтверждается и опытом наших масштабных работ на Режевском химическом заводе, а также положительными результатами экспериментальных исследований по изучению биodeградационных свойств разработанного биопрепарата в отношении полициклических углеводородов (нефть месторождения Оха, о. Сахалин).

Вышеприведенные аргументы могут служить серьезной предпосылкой для разработки и внедрения лабораторной, а в последующем и промышленной технологии утилизации (как в биореакторах, так и в натуральных условиях) данного вида техногенных отходов (лигнина). Дополнительные исследования по доработке предлагаемой биотехнологии при необходимости будут осуществлены с целью адаптации применения эколобиопрепарата для конкретных условий и, возможно, дополнительного включения в состав препарата некоторых аборигенных видов микроорганизмов, в частности рода *Arthrobacter*.

Выводы.

1. Считаю целесообразным для утилизации органических техногенных отходов (лигнин, целлюлоза и др.) использование биологического метода.

2. Предлагаем с целью использования и внедрения биологического препарата экологического назначения «Центрум-MMS» проведение на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности предварительных натурных испытаний.

3. Необходимо продолжить проведение научно-исследовательских работ по выделению из естественных экологических ниш перспективных микроорганизмов, обладающих способностью к утилизации промышленных отходов, содержащих лигнин, с целью усовершенствования или создания на их основе новых эффективных моно- или поликомпонентных биологических препаратов экологического назначения.

Список литературы

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». – М.: Минприроды России; НИА-Природа. – 2017. – 760 с.

2. Зайцев, В.А. Промышленная экология: учебное пособие / В.А. Зайцев. – М.: Бином, 2012. – 382 с.

3. Стратегия экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года: Указ Президента Российской Федерации от 19 апреля 2017 г. № 176 // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215668.

4. Экологическая биотехнология: Сб. статей / Под ред. К.Ф. Форстера, Д.А. Дж. Вейза. – Л.: Химия, 1990. – 384 с.

5. Кузнецов, А.Е. Прикладная экобиотехнология / А.Е.Кузнецов. – 2-е изд. – М.: Бином, 2012. – 629 с.

6. Вигдорович, В.И. Теоретические основы, техника и технология обезвреживания, переработки и утилизации отходов / В.И. Вигдорович, Н.В. Шель, И.В. Зарапина. – М.: КАР-ТЭК, 2008. – 215 с.

7. Наумова, Р.П. Экологическая биотехнология / Р.П. Наумова. – Казань: Казанский государственный университет, 2007. – С. 301–325.

8. Елинов, Н.П. Основы биотехнологии / Н.П. Елинов. – СПб.: Издательская фирма «Наука», 1995. – 600 с.

9. Пат. Российская Федерация 2428471, МПК C12N 1/26, B09C 1/10, C02F 3/34, C12R 1/39, C12R 1/01. Экобиопрепарат «Центрум-MMS» для очистки от нефти и нефтепродуктов / Забокрицкий А.Н., Минягин М.С., Забокрицкий Н.А., Забокрицкий А.А.; заявитель и патентообладатель Забокрицкий А.Н. – № 2010118670/10; заявл. 11.05.10; опубл. 10.09.11. – 11 с.

10. Пат. Российская Федерация 2650864, МПК C12N 1/20, C02F 3/34, B09C 1/10. Применение экобиопрепарата «Центрум-MMS» для очистки от нефти и нефтепродуктов в качестве биологического деструктора водных растворов несимметричного диметилгидразина / Забокрицкий А.А., Савиных Д.Ю., Тарабара А.В., Зорин А.Д., Забокрицкий Н.А., Занозина В.Ф., Хмелева М.В., Савиных С.Д.; заявитель и патентообладатель Забокрицкий А.Н., Савиных Д.Ю., Забокрицкий А.А. – № 2017133569; заявл. 26.09.17; опубл. 17.04.2018. – 12 с.

11. Пат. Российская Федерация 2668811, МПК C12N 1/20, B09C 1/10, C02F 3/34, C12R 1/39. Биологический деструктор нитроцеллюлозы / Забокрицкий А.А., Савиных Д.Ю., Тарабара А.В., Юшков Б.Г., Забокрицкий Н.А., Савиных С.Д.; заявитель и патентообладатель Забокрицкий А.Н., Савиных Д.Ю., Забокрицкий А.А. – № 2017144968; заявл. 20.12.17; опубл. 02.10.18. – 20 с.

12. Проект обезвреживания и рекультивации прудков-накопителей на территории бывшего Режевского химического завода» г. Реж Свердловской области. – ООО «Компания «ЭКОТЕХПРОМ», Екатеринбург. – 2013. – 319 с.

13. О проблеме ликвидации накопленных отходов в результате деятельности Байкальского ЦБК / Информационно-аналитические материалы к заседанию Межведомственной комиссии по вопроса охраны озера Байкал. – 2009. – 17 с.

14. Богданов, А.В. Экологически безопасная технология переработки накопленных коллоидных осадков шлам-лигнина ОАО «Байкальский ЦБК» / А.В. Богданов, А.С. Шатрова,

О.В. Тюкалова и др. // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология – 2018. – Т.8. – № 3. – С. 126-133.

15. Зельберг, Б.И. Технология обезвреживания и рекультивации шлам-лигнина ОАО «Байкальский целлюлозно-бумажный комбинат» / Б.И. Зельберг, Г.Т. Хорошилов, Л.В. Шеметов и др. // Вестник МАНЭБ – 2018. – Т.23. – № 2. – С. 82-85.

16. Бутырин, М.В. Технологическая схема биодетоксикации и утилизации шлам-лигнина Байкальский ЦБК / М.В. Бутырин, Ш.К. Хуснидинов, Р.В. Замащиков // Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы и перспективы устойчивого развития агропромышленного комплекса» посвященная памяти Александра Александровича Ежевского. – Иркутск, 2018. – С. 8-13.

17. Jing, L.I., Hongli, Y., Jinshui, Y. (2009). Bacteria and lignin degradation. Front. Biol. China, 4(1), 29–38.

18. Емцев, В. Т. Микробиология: учебник для академического бакалавриата / В. Т. Емцев, Е. Н. Мишустин. – 8-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 428 с.

УДК 378.14.015.62

О ПОСТРОЕНИИ СЕТЕВОЙ МАГИСТЕРСКОЙ ПРОГРАММЫ В ОБЛАСТИ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Калинин И.С.¹, Шульга Н.А.¹, Петроченков А.Б.¹, Куцубина Н.В.²,
Овсянников М.В.³, Осиновских И.В.⁴

¹ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский
политехнический университет», г. Пермь

²ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический
университет», г. Екатеринбург

³ФГБОУ ВО Московский государственный технический университет им.
Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), г. Москва

⁴Группа предприятий «Пермская целлюлозно-бумажная компания», г. Пермь

Ключевые слова: программно-аппаратное моделирование, магистерская программа, образовательная траектория, компетентностная модель, профессиональная компетенция.

Аннотация. В статье рассматривается вопрос разработки сетевой магистерской программы в области программно-аппаратного моделирования. Предложена структура, график учебного процесса и компетентностная модель магистерской программы.

DEVELOPMENT OF THE NETWORK MASTER PROGRAM IN THE HARDWARE-IN-THE-LOOP SIMULATION

Kalinin I.S.¹, Shulga N.A.¹, Petrochenkov A.B.¹, Kutsubina N.V.²,
Ovsyannikov M.V.³, Osinovskikh I.V.⁴

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm

²Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg

³Bauman Moscow State Technical University, Moscow

⁴Perm Pulp And Paper Company group of enterprises, Perm

Key words: hardware-in-the-loop simulation, master program, learning pathway, competency model, professional competence.

Abstract. The article discusses the issue of developing of the network master program in the hardware-in-the-loop simulation. The structure, schedule of the educational process and competency model of the master's program are proposed.